

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

DIPLOMSKI RAD

Mario Stuhne

Zagreb, 2009.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

DIPLOMSKI RAD

Voditelj rada:

Prof. dr. sc. Mario Šavar

Mario Stuhne

Zagreb, 2009.

Sadržaj

POPIS SLIKA I TABLICA.....	I
OZNAKE.....	II
IZJAVA.....	III
1. UVOD.....	1
2. MATEMATIČKI MODEL.....	2
3. STACIONARNO STRUJANJE.....	6
3.1. Uvjeti zadatka.....	6
3.2. Realizacija – Pipeline.exe.....	8
3.3. Karakteristika i odabir pumpe.....	10
4. NESTACIONARNE POJAVE IZAZVANE TRENUTNIM ISPADOM PUMPE.....	15
4.1. Neštićeno stanje.....	15
4.2. Odabir tlačne posude.....	21
5. ODABIR I DISPOZICIJA UREĐAJA.....	29
5.1. 3 pumpe + 2 rezervne.....	29
5.2. Generator.....	29
5.3. Tlačna posuda.....	29
6. ZAKLJUČAK.....	30
7.LITERATURA.....	31

POPIS SLIKA I TABLICA

Slika 3.1 – skica cjevovoda.....	6
Dijagram 3.1 – prikaz dnevne potrošnje vode.....	6
Tablica 3.1 – podaci o materijalu i vodi.....	7
Tablica 3.2 – podaci o čvorovima i elementima.....	7
Slika 3.2 – shema u <i>Pipeline</i> -u.....	8
Tablica 3.3 - sadržaj datoteke s rezultatima.....	9
Slika 3.3 – slika crpke.....	10
Slika 3.4 – crtež s dimenzijama crpke.....	11
Tablica 3.4 – dimenzije i mase odabrane crpke.....	12
Dijagram 3.2 – očitana karakteristika pumpe.....	13
Tablica 3.5 – sadržaj datoteke s rezultatima nakon implementacije karakteristike.....	14
Slika 4.1 – panel s ulaznim podacima.....	15
Tablica 4.1 – sadržaj datoteke <i>Output.dat</i>	19
Dijagram 4.1 – anvelopa tlakova kod neštićenog stanja.....	20
Dijagram 4.2 – vremenska promjena tlaka u karakterističnim čvorovima.....	21
Slika 4.2 – panel s ulaznim podacima.....	22
Tablica 4.2 – sadržaj datoteke <i>Output.dat</i>	24
Dijagram 4.3 – anvelopa tlakova kod štíćenog stanja.....	25
Dijagram 4.4 – vremenska promjena tlaka u karakterističnim čvorovima.....	26
Dijagram 4.5 – prikaz volumena zraka u posudi.....	27
Dijagram 4.6 – vremenska promjena protoka iz/u posudu.....	28
Prilozi.....	32

OZNAKE

ρ ,	kg/m^3	- gustoća fluida
V ,	m^3	- volumen
\dot{m} ,	kg/s	- maseni protok
τ_w ,	Pa	- tangencijalno naprezanje
v ,	m/s	- srednja brzina strujanja kapljevine
p ,	Pa	- mehanički tlak
ν ,	m^2/s	- koeficijent kinematičke viskoznosti
Q ,	m^3/s	- volumenski protok
L, D	m	- L – duljina cjevovoda, D – promjer cjevovoda
g ,	m/s^2	- gravitacijsko ubrzanje
λ ,		- koeficijent otpora trenja
k ,	m	- visina hrapavosti
K ,	Pa	- volumni modul elastičnosti
c ,	m/s	- brzina zvuka
E ,	Pa	- modul elastičnosti cijevi
t ,	s	- vrijeme
h ,	m	- piezometrička visina
z ,	m	- geodetska visina
Re ,		- Reynoldsov broj

IZJAVA

Izjavljujem pod punom materijalnom i moralnom odgovornošću da sam diplomski rad izradio samostalno, isključivo znanjem stečenim na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, uz pomoć prof. dr. sc. Maria Šavara kojem se ovim putem zahvaljujem, te literaturom navedenom u referenci.

U Zagrebu, 2009.

1. UVOD

Voda je prijeko potrebna za opstanak svih živih organizama i nezamjenjiva je u mnogim tehnološkim postupcima. Nedovoljna količina vode na širem geografskom području može biti zapreka razvoju društvenih i gospodarskih djelatnosti na tom prostoru. Osim dovoljne količine vode za vodoopskrbu stambenih naselja bitna je i kakvoća vode koja se pogoršava zbog sve većih onečišćenja okoliša. Kvalitetna odvodnja otpadnih i oborinskih voda nužan je higijensko zdravstveni uvjet za razvoj gradske sredine. Razvojem civilizacije i porastom standarda raste potreba za konstantnom dobavom energenata. Sigurna, pouzdana i jeftina dobava energenata nužan je uvjet razvoja urbane zajednice, a cjevovodna mreža se pokazala kao optimalno tehničko rješenje u najvećem broju slučajeva.

U jednoj razvijenoj gradskoj sredini postoji čitav niz cjevovodnih mreža koji služi za transport fluida (vodovodi, naftovodi, plinovodi, toplovodi, kanalizacijski i slivni sustavi). Kvalitetno planiranje, građenje i održavanje tih cjevovodnih sustava složen je tehnički zadatak nužan za postojanje urbanog naselja.

Poznavanje principa modeliranja strujanja u složenim cjevovodnim mrežama te ovladavanje metodama proračuna stacionarnog i nestacionarnog strujanja fluida nužan je uvjet za kvalitetno inženjersko spoznavanje hidrodinamičkih pojava unutar cjevovodnih mreža te iznalaženje tehničkog rješenja.

U ovom diplomskom radu analizirat će se stacionarno i nestacionarno strujanje fluida kroz cjevovod. Iz stacionarnog proračuna za zadani protok cjevovoda i kote vodospreme odredit će se potrebna visina dobave pumpe kako bismo odredili karakteristiku pumpe. Nakon određivanja potrebne karakteristike pumpe koja zadovoljava naše uvjete krećemo na analizu nestacionarnog strujanja fluida, tj. u našem slučaju nakon trenutnog ispada pumpe iz rada te će se odrediti potrebna veličina tlačne posude kako bi se cjevovod zaštitio od hidrauličkog udara kako ne bi došlo do uništenja tehničke opreme koja nam dobavlja vodu.

2. MATEMATIČKI MODEL

Cijevna mreža, kao što je vodovod, je konstrukcija koja ima jako izraženu jednu linearnu dimenziju. Kod takve konstrukcije promjene u smjeru strujanja su dominantne u odnosu na ostale smjerove. Prema definiciji, jednodimenzijско strujanje je strujanje fluida kroz elementarnu strujnu cijev, a sve fizikalne veličine su funkcije koordinata u smjeru strujanja. Strujanje fluida kroz tehničke cijevi se može sa dovoljnom točnošću smatrati jednodimenzijским, ako su zadovoljeni sljedeći uvjeti:

- promjene fizikalnih veličina poprečno na smjer strujanja zanemarive su u odnosu na promjene u smjeru strujanja,
- relativna promjena poprečnog presjeka u smjeru strujanja je mala,
- radijus zakrivljenosti osi cijevi je velik u odnosu na karakterističnu linearnu dimenziju poprečnog presjeka,
- profili svih fizikalnih veličina na poprečnom presjeku neznatno se mijenjaju u smjeru strujanja.

U daljnjem izlaganju koristit ćemo gotove izraze jednadžbi dinamike fluida.

Sustav jednadžbi dinamike fluida sastoji se od parcijalnih diferencijalnih jednadžbi:

- jednadžba kontinuiteta

$$\frac{\partial(\rho S)}{\partial t} = - \frac{\partial(\rho v S)}{\partial x} \quad (2.1)$$

- jednadžba količine gibanja

$$\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{D\pi\tau_w}{S} + \rho g \frac{\partial z}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial x} + \rho \frac{\partial v}{\partial t} = 0 \quad (2.2)$$

- izraz za brzinu zvuka

$$c^2 = \frac{dp}{d\rho} \quad (2.3)$$

Navedene jednačbe možemo zapisati u alternativnom obliku koji glasi:

– jednačba kontinuiteta

$$v \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{c^2}{g} \frac{\partial v}{\partial x} - v \frac{dz}{dx} = 0 \quad (2.4)$$

– jednačba količine gibanja

$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\lambda v |v|}{2gD} = 0 \quad (2.5)$$

– izraz za brzinu zvuka

$$c = \sqrt{\frac{1}{\rho \left(\frac{1}{K} + \frac{D}{Es} \right)}} \quad (2.6)$$

gdje je:

v - srednja brzina strujanja kapljevine - $[v] = LT^{-1}, [v]_{SI} = m/s$

h - piezometrička visina - $[h] = L, [h]_{SI} = m$

c - brzina tlačnog poremećaja - $[c] = LT^{-1}, [c]_{SI} = m/s$

x - koordinatna os duž osi cijevi - $[x] = L, [x]_{SI} = m$

t - vrijeme - $[t] = T, [t]_{SI} = s$

g - gravitacijsko ubrzanje - $[g] = LT^{-2}, [g]_{SI} = m/s^2$

z - geodetska visina - $[z] = L, [z]_{SI} = m$

λ - koeficijent otpora trenja - $[\lambda] = 1$

D - promjer cijevi - $[D] = L, [D]_{SI} = m$

ρ - gustoća fluida - $[\rho] = ML^{-3}, [\rho]_{SI} = kg/m^3$

K - volumni modul elastičnosti - $[K] = \text{MLT}^{-2}$, $[K]_{\text{SI}} = \text{kgm/s}^2$

E - modul elastičnosti cijevi - $[E] = \text{MLT}^{-2}$, $[E]_{\text{SI}} = \text{kgm/s}^2$

s - debljina stijenke cijevi - $[s] = \text{L}$, $[s]_{\text{SI}} = \text{m}$

Model stacionarnoga strujanja proračunat ćemo metodom *Hardy – Crossa* koja se može formulirati u sljedećem obliku:

1. Za svaki čvor suma protoka koji ulaze u čvor mora biti jednaka sumi protoka koji izlaze iz čvora.
2. Za svaku cijev mora biti zadovoljena Darcy-Weisbach-ova jednačba tj. uspostavljen odnos između visine gubitka mehaničke energije i protoka.

Darcy-Weisbach-ova jednačba glasi:

$$h_f = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} = \lambda \frac{L}{D^5} \frac{8Q^2}{g\pi^2} = rQ|Q|$$

gdje je Q^2 zamijenjen sa $Q|Q|$ čime se povezuje predznak visine gubitaka mehaničke energije sa smjerom protoka.

h_f - visina gubitka mehaničke energije zbog otpora trenja, $[h_f] = \text{L}$, $[h_f]_{\text{SI}} = \text{m}$

λ - koeficijent otpora trenja, $[\lambda] = 1$

Za određivanje vrijednosti λ u ovom će se radu koristiti sljedeće formule:

- za područje laminarnog strujanja

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}, \quad \text{Re} \leq 2320$$

- za područje turbulentnog strujanja (Colebook-ova formula)

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -0,8686 \ln \left[\frac{k}{3,707} + \frac{2,523}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} \right]$$

Q – volumenski protok, $[Q] = \text{L}^3\text{T}^{-1}$, $[Q]_{\text{SI}} = \text{m}^3/\text{s}$

Re – Reynoldsov broj, $[\text{Re}] = 1$

$$\text{Re} = \frac{vD}{\nu} = \frac{4Q}{D\pi\nu}$$

ν – koeficijent kinematske viskoznosti, $[\nu] = \text{L}^2\text{T}^{-1}$, $[\nu]_{\text{SI}} = \text{m}^2/\text{s}$

k – visina hrapavosti, $[k] = \text{L}$, $[k]_{\text{SI}} = \text{m}$

k/D – relativna hrapavost, $[k/D] = 1$

r – pomoćni koeficijent, $[r] = \text{L}^{-5}\text{T}^2$, $[r]_{\text{SI}} = \text{s}^2/\text{m}^5$

$$r = \lambda \frac{8L}{D^5 g \pi^2}$$

Nestacionarno strujanje proračunat ćemo metodom karakteristika. Metoda karakteristika je numerička metoda kojom se vrši transformiranje parcijalnih diferencijalnih jednačbi hiperboličnog tipa u obične diferencijalne jednačbe, tj. njihovo prevođenje u karakterističan oblik i pronalaženje jednačbi karakteristika–linija u X–Y ravnini uzduž kojih vrijede obične diferencijalne jednačbe.

Drugi korak je rješavanje dobivenih običnih diferencijalnih jednačbi koje se najčešće provodi nekim od numeričkih postupaka.

Pozitivna karakteristika ima nagib:

$$\lambda_1 = \frac{dt}{dx} = \frac{1}{(v+c)} \quad (2.7)$$

i uzduž nje vrijedi izraz:

$$+\frac{g}{c} \frac{dh}{dt} + \frac{dv}{dt} + \frac{\lambda v |v|}{2D} = 0 \quad (2.8)$$

Negativna karakteristika ima nagib:

$$\lambda_2 = \frac{dt}{dx} = \frac{1}{(v-c)} \quad (2.9)$$

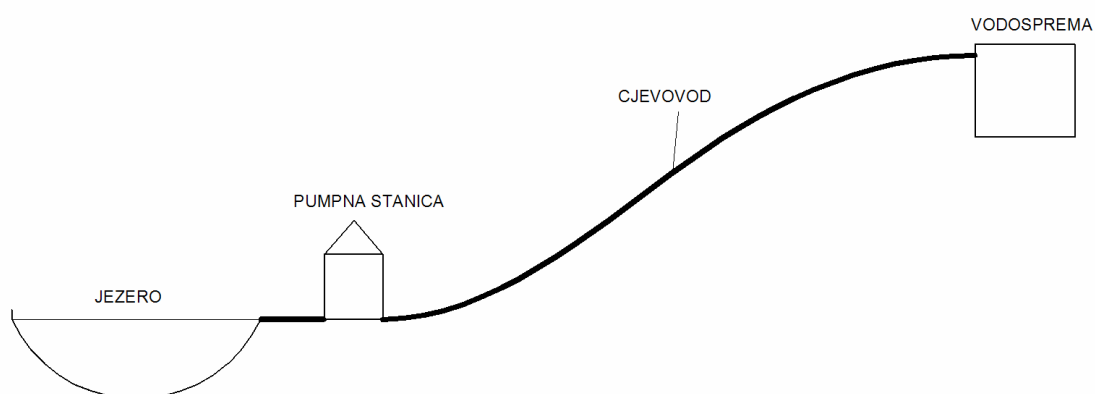
i uzduž nje vrijedi izraz:

$$-\frac{g}{c} \frac{dh}{dt} + \frac{dv}{dt} + \frac{\lambda v |v|}{2D} = 0 \quad (2.10)$$

3. STACIONARNO STRUJANJE

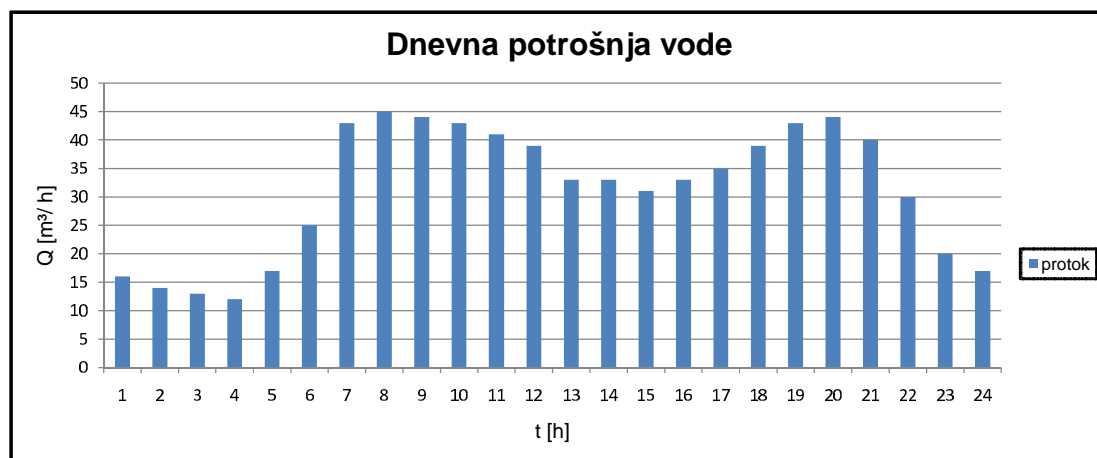
3.1. Uvjeti zadatka

Potrebno je izgraditi vodospremu na koti 62 m iznad rezervoara kako bi se osigurale potrebe za vodom naselja od 3000 stanovnika. Voda se transportira iz obližnjeg rezervoara 2,3 km dugim cjevovodom. Prilikom iskapčanja pumpi koje dobavljaju vodu javlja se hidraulički udar. Potrebno je osmisлити zaštitu pumpi od hidrauličkog udara.



Slika 3.1 – skica cjevovoda

- 3000 stanovnika dnevno troši 250 lit/stanovniku vode, odnosno, ukupno 750 m³/dan



Dijagram 3.1 – prikaz dnevne potrošnje vode

- Iz dijagrama se vidi da je maksimalni protok $45 \text{ m}^3/\text{h}$, odnosno $12,5 \text{ lit/s}$

Materijal cijevi je polietilen visoke gustoće:

Promjer cijevi [m]	0,1
Debljina stijenke [m]	0,0151
Gustoća vode [kg/m^3]	992,8
Kinematička viskoznost [m^2/s]	$0,6414 \cdot 10^{-6}$
Vol. modul elastičnosti vode [Pa]	$2,2774 \cdot 10^9$
Modul elastičnosti cijevi [Pa]	$8 \cdot 10^8$
Brzina zvuka [m/s]	339,9
Akceleracija sile teže [m/s^2]	9,806605
Koeficijent trenja	0,0192

Tablica 3.1 – podaci o materijalu i vodi

Čvor	Tlak [Pa]	Potrošnja[l/s]	Visina [m]	Elementi	Duljina [m]
1	101300	0		1-ventil	
2				2-pumpa	
3				3-zaklopka	
4				4-ventil	
5				5-cijev	2300
6				6-ventil	
7			62	7-cijev	1
8		12,5	62		

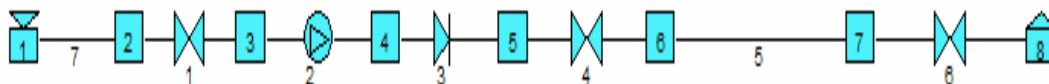
Tablica 3.2 – podaci o čvorovima i elementima

- Što se tiče početne karakteristike pumpe, u čvoru ostavimo da je nula, a za broj pumpi upišemo 3.

3.2. Realizacija – Pipeline.exe

Nakon što smo definirali zadatak, odabrali promjer cijevi, materijal cijevi te fizikalna svojstva vode, krećemo na realizaciju u programskom paketu *Pipeline.exe*. *Pipeline.exe* je programski paket koji nam služi za izračunavanje stacionarnog strujanja fluida.

- Prvi korak je crtanje sheme čvorova i elemenata:



Slika 3.2 – shema u *Pipeline-u*

- Kada smo nacrtali shemu, upišemo podatke za svaki čvor i element koje smo prethodno zadali, te pokrećemo proračun.

Kada je proračun završen, očitamo visinu dobave pumpe. Kod očitavanja podataka moramo provjeriti brzinu strujanja vode, ona mora iznositi između 1 – 2 m/s. Naravno uz provjeru brzine strujanja, moramo provjeriti i ostale podatke koje smo prethodno unjeli, da se nismo negdje zabunili kod unosa, te dakako treba provjeriti i tlakove, zaslučaj da nam u nekom čvoru tlak nije previsok. To znači da smo negdje u zadavanju zadatka pogriješili.

R E Z U L T A T I

	ELEM.	OD	DO	DULJINA	PROMJER	PROTOK	BRZINA	GUBITAK
NAZIV ELEMENTA	BROJ			m	mm	l/s	m/s	m
	1	2	3		100.0	12.50	1.59	0.13*
	2	3	4		100.0	12.50	1.59	0.00*
	3	4	5		100.0	12.50	1.59	0.13*
	4	5	6		100.0	12.50	1.59	0.13*
	5	6	7	2300.00	100.0	12.50	1.59	55.20
	6	7	8		100.0	12.50	1.59	0.13*
	7	1	2	1.00	100.0	12.50	1.59	0.02

PIEZOMETRICKE VISINE ,GEODETSKE VISINE, TLAKOVI I POTROSNJE PO CVOROVIMA

	CVOR	H	Zg	H-Zg	p	POTROSNJA
NAZIV CVORA	BROJ	m	m	m	bar	l/s
	1*	10.40	0.00	10.40	1.01	-12.50
	2	10.38	0.00	10.38	1.01	
	3	10.25	0.00	10.25	1.00	
	4	10.25	0.00	10.25	1.00	
	5	10.12	0.00	10.12	0.99	
	6	9.99	0.00	9.99	0.97	
	7	-45.21	62.00	-107.21	-10.44	
	8*	-45.34	62.00	-107.34	-10.45	12.50

Tablica 3.3 - sadržaj datoteke s rezultatima

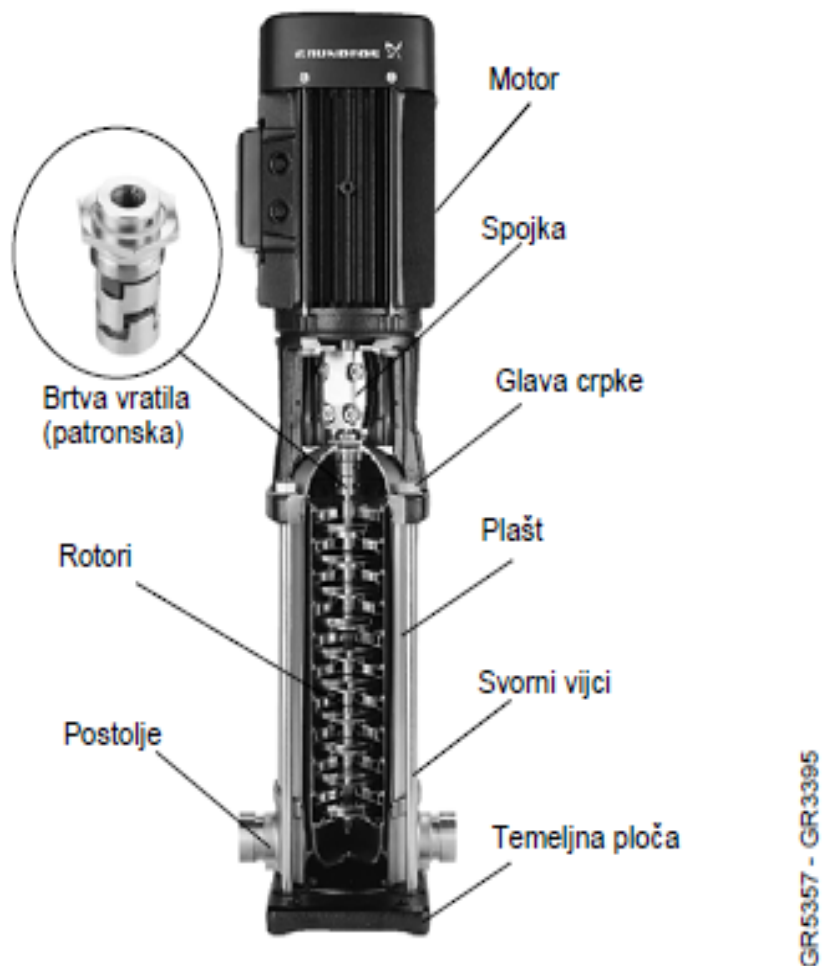
- Kao što se vidi iz tablice 3.3, da bi se voda dobavljala na kotu 62 m i tlak od 1 bar, potrebna je visina dobave pumpe od 118 m.
- $1 \text{ bar} = 10 \text{ m}$, $H_p = 107,34 + 10 \approx 118 \text{ m}$.

3.3. Karakteristika i odabir pumpe

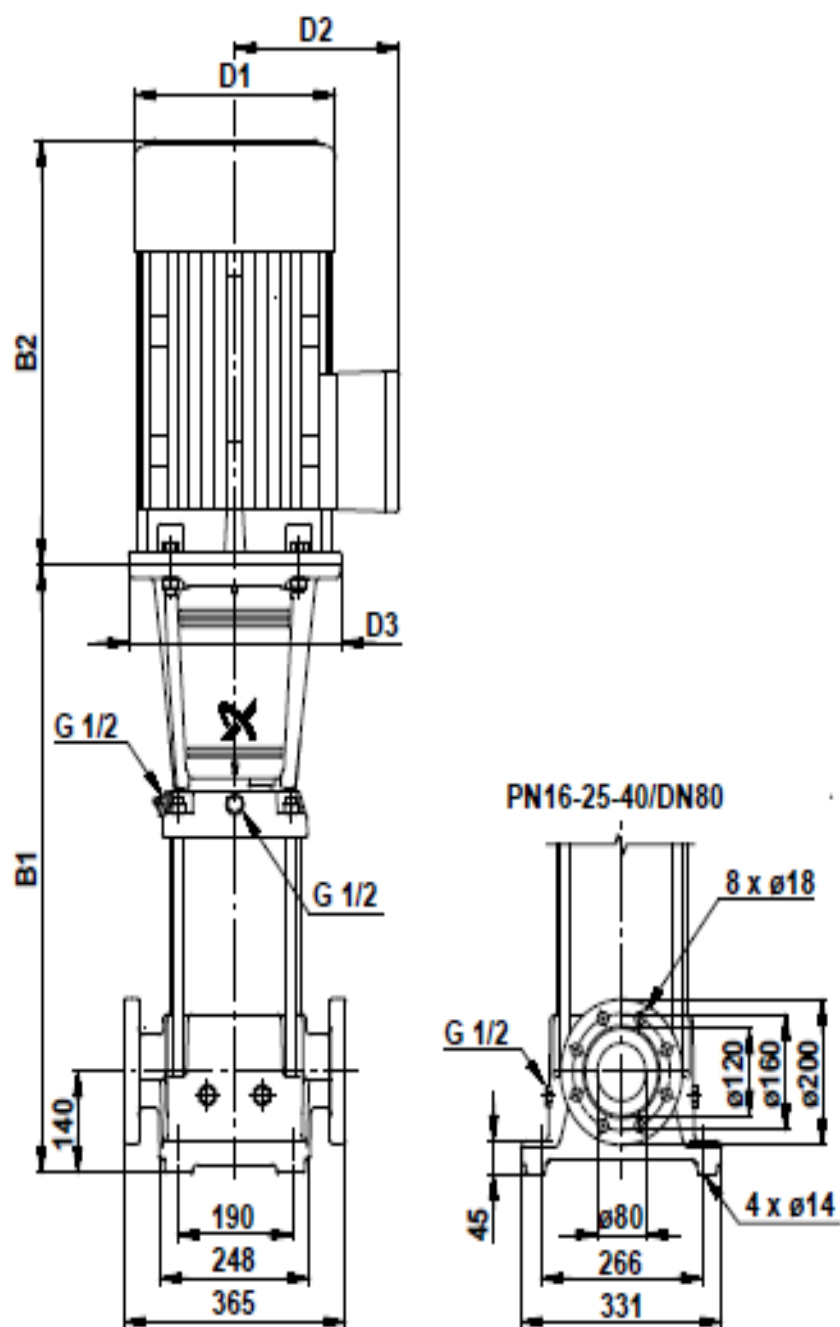
Sada kada smo dobili visinu dobave pumpe potrebna nam je karakteristika pumpe. Nju očitamo iz Grundfos-ovog kataloga kojeg lako možemo skinuti sa weba.

Prije nego što očitamo karakteristiku, potrebno je odrediti tip pumpe koji odgovara našim zahtjevima. U našem zadatku potrebna je pumpa za vodoopskrbu, visine dobave 118 m i radnog protoka $45 \text{ m}^3/\text{h}$.

Odabrali smo tip pumpe **CRE 45-5**. To je vertikalna višestupanjska centrifugalna crpka i nije samousisna. Dobavljiva je sa standardnim *Grundfos* motorom s regulacijom frekvencije.



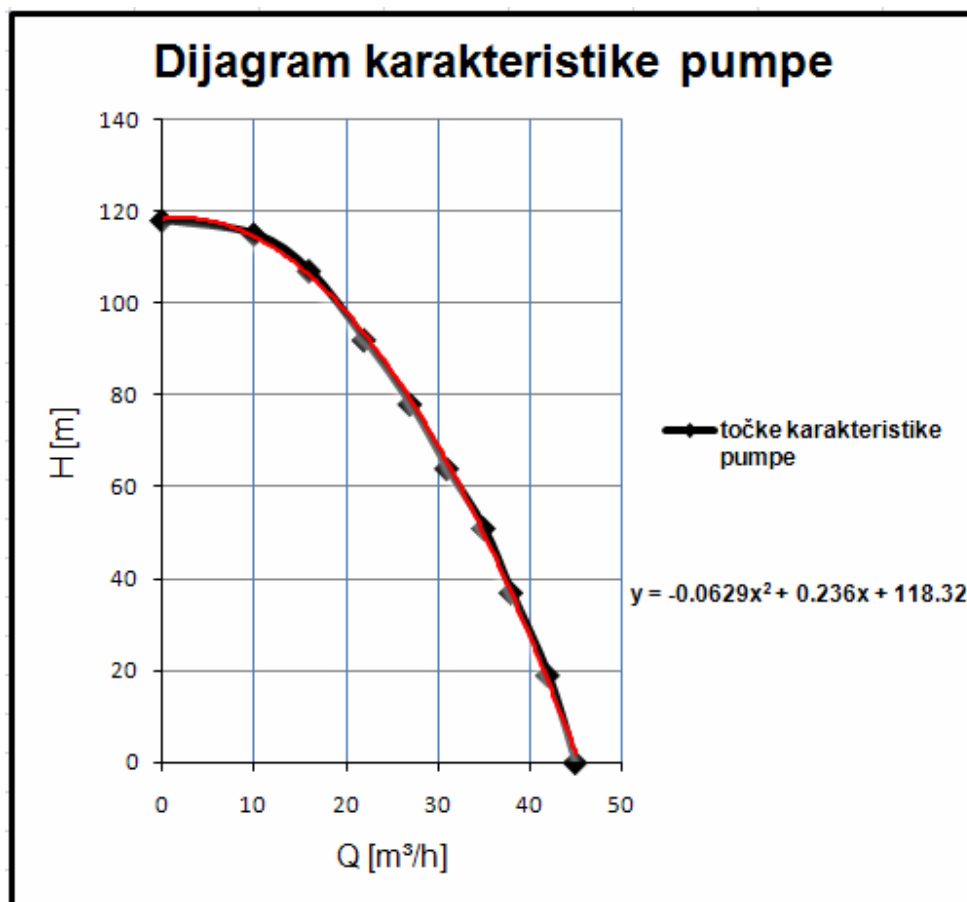
Slika 3.3 – slika crpke



Slika 3.4 – crtež s dimenzijama crpke

Tip crpke	Motor P_2 [kW]	CR						CRE					
		Dimenzije [mm]					Neto masa [kg]	Dimenzije [mm]					Neto masa [kg]
		B1	B1+B2	D1	D2	D3		B1	B1+B2	D1	D2	D3	
CR(E) 45-1-1	3	559	894	198	120	-	78	559	894	198	177	-	88
CR(E) 45-1	4	559	931	220	134	-	89	559	931	220	188	-	99
CR(E) 45-2-2	5,5	639	1030	220	134	300	104	639	1030	220	188	300	110
CR(E) 45-2	7,5	639	1018	300	184	300	118	639	1018	300	184	300	125
CR 45-3-2	11	829	1300	368	236	350	146	-	-	-	-	-	-
CR(E) 45-3	11	829	1300	368	236	350	146	829	1300	370	308	350	193
CR 45-4-2	15	909	1380	308	211	350	186	-	-	-	-	-	-
CR(E) 45-4	15	909	1380	308	211	350	186	909	1380	315	308	350	212
CR 45-5-2	18,5	989	1504	308	211	350	189	-	-	-	-	-	-
CR(E) 45-5	18,5	989	1504	308	211	350	189	989	1504	315	308	350	228
CR 45-6-2	22	1069	1610	265	146	350	266	-	-	-	-	-	-

Tablica 3.4 – dimenzije i mase odabrane crpke



Dijagram 3.2 – očitana karakteristika pumpe

Sada kada imamo očitanu karakteristiku pumpe, vraćamo se natrag u *Pipeline.exe* te implementiramo očitanu karakteristiku u čvor pumpe i ponovimo proračun.

Na kraju proračuna opet provjerimo rezultate radi sigurnosti da nismo negdje slučajno pogriješili.

R E Z U L T A T I

	ELEN.	OD	DO	DULJINA	PROMJER	PROTOK	BRZINA	GUBITAK
NAZIV ELEMENTA	BROJ			m	mm	l/s	m/s	m
	1	2	3		100.0	12.50	1.59	0.13*
	2	3	4		100.0	12.50	1.59	118.21*
	3	4	5		100.0	12.50	1.59	0.13*
	4	5	6		100.0	12.50	1.59	0.13*
	5	6	7	2300.00	100.0	12.50	1.59	55.20
	6	7	8		100.0	12.50	1.59	0.13*
	7	1	2	1.00	100.0	12.50	1.59	0.02

PIEZOMETRICKE VISINE ,GEODETSKE VISINE, TLAKOVI I POTROSNJE PO CVOROVIMA

	CVOR	H	Zg	H-Zg	p	POTROSNJA
NAZIV CVORA	BROJ	m	m	m	bar	l/s
	1*	10.40	0.00	10.40	1.01	-12.50
	2	10.38	0.00	10.38	1.01	
	3	10.25	0.00	10.25	1.00	
	4	128.46	0.00	128.46	12.51	
	5	128.33	0.00	128.33	12.49	
	6	128.20	0.00	128.20	12.48	
	7	73.00	62.00	11.00	1.07	
	8*	72.87	62.00	10.87	1.06	12.50

Tablica 3.5 – sadržaj datoteke s rezultatima nakon implementacije karakteristike

4. NESTACIONARNE POJAVE IZAZVANE TRENUTNIM ISPADOM PUMPE

4.1. Neštićeno stanje

Sljedeća slika prikazuje ulazni panel programa *Hudar.exe* sa svim zadanim podacima o sustavu. Može se primijetiti da je stup u kojem se zadaju dozračni ventili isključen, što znači da dozračnih ventila nema u sustavu, te da je volumen tlačne posude jednak nuli, što znači da u sustavu nema posude za zaštitu od hidrauličkog udara. Pumpa ispada u nultom vremenskom trenutku.

The screenshot shows the 'Hudar1' software interface. It includes a schematic diagram of a hydraulic system with two reservoirs (P1, P2), a pump, a pipe (L), and a valve (Kv). The diagram shows fluid levels H1, H2, and a volume V0. Below the diagram are input fields for Fluid properties (rho, ni, pv, B), Pipe properties (D, L, d, k, E), Reservoir properties (H1, H2, p1, p2, z2), and Pump properties (Hp, Tp, dT). There are also checkboxes for 'Geo. visine' and 'Dozračni ventili', and a table of elevation and pressure data for various points in the system. The 'OK' button is visible.

Slika 4.1 – panel s ulaznim podacima

Nakon zadavanja svih podataka, proračun se vrši pritiskom na tipku OK. Jedna od izlaznih datoteka s rezultatima je *Output.dat*, čiji je dio sadržaja prikazan u sljedećoj tablici. U datoteci su ispisani zadani podaci o fizikalnim svojstvima fluida i materijala cijevi, podaci o elementima sustava, podaci o geodetskim visinama čvorova sustava, te izračunato stacionarno stanje strujanja (brzine kroz elemente sustava i piezometričke visine u čvorovima sustava). Uz podatke o elementima cijevi je ispisana i brzina zvuka

c. Kod pumpe TZ označuje vremenski trenutak ispada pumpe, a kod ventila su TP i TZ vremena početka i trajanje zatvaranja ventila. Nakon toga su ispisani rezultati numeričke integracije o brzinama kroz elemente i tlakovima u čvorovima za sve vremenske trenutke, te anvelopa tlakova tj. maksimalne i minimalne vrijednosti tlaka koje se pojavljuju u svakom od čvorova. Za svaki vremenski trenutak ispisuju se dva retka, u prvom podaci o tlaku u odabranim čvorovima, a u drugom brzine u odabranim elementima. Negativna vrijednost broja elementa u ispisu brzine označuje brzinu na njegovu lijevom kraju (u nestacionarnom strujanju, s obzirom na pretpostavku slabo stlačivog fluida i elastične deformacije cijevi, brzine na lijevom i desnom kraju cijevnogelementa ne moraju biti jednake). Uz maksimalne i minimalne vrijednosti tlaka u čvorovima je ispisan i tlak para, tako da se lakše uoče čvorovi u kojima se pojavljuje kavitacija. Na samom kraju datoteke je podatak o čvorovima u kojima se pojavljuje maksimalni i minimalni tlak u sustavu, te u kojem vremenskom trenutku. Pregled rezultata je ustvari najbolje započeti od anvelope tlakova, pa ako maksimalni ili minimalni tlakovi nisu u dopuštenim granicama, prelazi se na zaštitu sustava.

Diplomski rad

GUSTOČA FLUIDA	RO=	992.8	kg/m**3
KOEFICIJENT KINEMATSKE VISKOZNOSTI	NI=	6.414E-07	m**2/s
TLAK ISPARAVANJA	PVA=	4200.0	Pa
VOLUMNI MODUL ELASTICNOSTI	K=	2.277E+09	Pa
MODUL ELASTICNOSTI MATERIJALA CIJEVI	E=	8.000E+08	Pa

ELEM.	BR.	D	L	HR	DELTA	C	KV	TP	TZ	V0	C-POSUDE	N	ZG
		mm	m	mm	mm	m/s	-	s	s	m**3	Pa*m** (3N)	-	m
CIJEV	3	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIJEV	4	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIJEV	5	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIJEV	6	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIJEV	7	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIJEV	8	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIJEV	9	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIJEV	10	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIJEV	11	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIJEV	12	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIJEV	13	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIJEV	14	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIJEV	15	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIJEV	16	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIJEV	17	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIJEV	18	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIJEV	19	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIJEV	20	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIJEV	21	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIJEV	22	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
PUMPA	1	100.0						0.0	0.0				
B0=		1.183E+02	B1=	2.360E-01	B2=	-6.290E-02	B3=	0.000E+00					
KLAPNA	2	100.0											
VENTIL	23	100.0					1.0	999.0	999.0				

CVOR	ZG	CVOR	ZG	CVOR	ZG	CVOR	ZG
m		m		m		m	
1	0.00	2	0.00	3	0.00	4	3.10
5	6.20	6	9.30	7	12.40	8	15.50
9	18.60	10	21.70	11	24.80	12	27.90
13	31.00	14	34.10	15	37.20	16	40.30
17	43.40	18	46.50	19	49.60	20	52.70
21	55.80	22	58.90	23	62.00	24	65.00

EL.	BRZINA	EL.	BRZINA	EL.	BRZINA	EL.	BRZINA
m/s		m/s		m/s		m/s	
1	1.679	2	1.679	3	1.679	4	1.679
5	1.679	6	1.679	7	1.679	8	1.679
9	1.679	10	1.679	11	1.679	12	1.679
13	1.679	14	1.679	15	1.679	16	1.679
17	1.679	18	1.679	19	1.679	20	1.679
21	1.679	22	1.679	23	1.679		

4. Nestacionarne pojave izazvane trenutnim ispadom pumpe Diplomski rad

CVOR	H	CVOR	H	CVOR	H	CVOR	H
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
m	m	m	m	m	m	m	m
1	15.40	2	133.73	3	133.73	4	130.67
5	127.61	6	124.55	7	121.49	8	118.43
9	115.37	10	112.31	11	109.26	12	106.20
13	103.14	14	100.08	15	97.02	16	93.96
17	90.90	18	87.84	19	84.78	20	81.73
21	78.67	22	75.61	23	72.55	24	72.40

.... PODACI O GRANICNIM UVJETIMA I STRUKTURI MREZE

GRANICNI UVJETI

2 8 1 1 2 2 3 3 4 1 6 5 22 22 23
23 24

STRUKTURA MREZE

IPMAX= 47
1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8
8 9 9 10 10 11 11 12 12 13 13 14 14 15 15
16 16 17 17 18 18 19 19 20 20 21 21 22 22 23
23 24

**** R E Z U L T A T I

APSOLUTNI TLAK P , bar
BRZINA V , m/s

VRIJEME	P(1)	P(2)	P(3)	P(4)	P(6)	P(8)	P(10)	P(13)	P(16)	P(18)	P(21)	P(22)	P(23)	P(24)
s	V(1)	V(2)	V(-3)	V(4)	V(6)	V(8)	V(10)	V(12)	V(14)	V(16)	V(18)	V(20)	V(22)	V(23)
0.00	1.50	13.02	13.02	12.42	11.22	10.02	8.82	7.02	5.22	4.03	2.23	1.63	1.03	1.01
	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68
0.33	1.50	1.50	7.21	12.42	11.22	10.02	8.82	7.02	5.23	4.03	2.23	1.63	1.03	1.01
	0.00	0.00	0.00	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68
0.66	1.50	1.50	7.13	6.87	11.22	10.02	8.83	7.03	5.23	4.03	2.23	1.63	1.03	1.01
	0.00	0.00	0.00	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68
0.99	1.50	1.50	6.92	6.69	11.23	10.03	8.83	7.03	5.23	4.03	2.23	1.63	1.03	1.01
	0.00	0.00	0.00	0.15	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68
1.33	1.50	1.50	6.84	6.48	6.16	10.03	8.83	7.03	5.23	4.03	2.23	1.63	1.03	1.01
	0.00	0.00	0.00	0.09	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68
1.66	1.50	1.50	6.64	6.39	5.80	10.03	8.83	7.03	5.23	4.03	2.23	1.63	1.03	1.01
	0.00	0.00	0.00	0.09	0.28	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68
1.99	1.50	1.50	6.55	6.19	5.59	5.41	8.83	7.03	5.23	4.03	2.23	1.63	1.03	1.01
	0.00	0.00	0.00	0.09	0.18	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68
2.32	1.50	1.50	6.36	6.11	5.50	4.92	8.83	7.03	5.23	4.03	2.23	1.63	1.03	1.01
	0.00	0.00	0.00	0.09	0.17	0.41	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68
2.65	1.50	1.50	6.27	5.91	5.31	4.70	4.63	7.03	5.24	4.03	2.23	1.63	1.03	1.01
	0.00	0.00	0.00	0.09	0.17	0.27	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68
2.98	1.50	1.50	6.07	5.82	5.22	4.61	4.03	7.04	5.24	4.03	2.23	1.63	1.03	1.01
	0.00	0.00	0.00	0.09	0.17	0.26	0.52	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68
3.32	1.50	1.50	5.98	5.63	5.03	4.42	3.80	7.04	5.24	4.03	2.23	1.63	1.03	1.01
	0.00	0.00	0.00	0.09	0.17	0.26	0.35	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68
3.65	1.50	1.50	5.79	5.54	4.93	4.32	3.71	3.39	5.24	4.03	2.23	1.63	1.03	1.01
	0.00	0.00	0.00	0.09	0.17	0.25	0.34	0.62	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68
3.98	1.50	1.50	5.70	5.35	4.75	4.14	3.52	2.69	5.24	4.03	2.23	1.63	1.03	1.01
	0.00	0.00	0.00	0.08	0.17	0.25	0.34	0.44	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68
4.31	1.50	1.50	5.51	5.25	4.65	4.04	3.43	2.45	5.24	4.03	2.23	1.63	1.03	1.01
	0.00	0.00	0.00	0.08	0.17	0.25	0.34	0.42	0.72	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68
4.64	1.50	1.50	5.42	5.07	4.47	3.86	3.25	2.35	2.07	4.04	2.23	1.63	1.03	1.01
	0.00	0.00	0.00	0.08	0.17	0.25	0.34	0.42	0.53	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68
4.97	1.50	1.50	5.24	4.97	4.37	3.76	3.15	2.17	1.33	4.04	2.23	1.63	1.03	1.01

...

...

15.91	1.50	1.50	7.39	7.06	6.14	5.10	4.13	3.18	2.29	1.80	1.32	1.17	1.01	1.01
	0.00	0.00	0.00	-0.12	-0.31	-0.53	-0.61	-0.67	-0.76	-0.83	-0.84	-0.84	-0.84	-0.84
16.25	1.50	1.50	7.51	7.19	6.38	5.33	4.22	3.26	2.39	1.84	1.32	1.17	1.01	1.01
	0.00	0.00	0.00	-0.07	-0.22	-0.41	-0.58	-0.67	-0.75	-0.81	-0.86	-0.86	-0.86	-0.86
16.58	1.50	1.50	7.59	7.30	6.63	5.71	4.68	3.40	2.50	1.96	1.32	1.17	1.01	1.01
	0.00	0.00	0.00	-0.06	-0.17	-0.36	-0.57	-0.65	-0.72	-0.80	-0.86	-0.87	-0.87	-0.87
16.91	1.50	1.50	7.69	7.38	6.77	5.96	4.92	3.56	2.65	2.06	1.32	1.17	1.01	1.01
	0.00	0.00	0.00	-0.05	-0.13	-0.28	-0.46	-0.63	-0.71	-0.79	-0.85	-0.89	-0.89	-0.89
17.24	1.50	1.50	7.77	7.48	6.88	6.21	5.29	3.66	2.73	2.16	1.36	1.17	1.01	1.01
	0.00	0.00	0.00	-0.05	-0.11	-0.23	-0.42	-0.62	-0.69	-0.76	-0.83	-0.90	-0.91	-0.91
17.57	1.50	1.50	7.87	7.56	6.96	6.35	5.54	4.08	2.86	2.31	1.47	1.20	1.01	1.01
	0.00	0.00	0.00	-0.05	-0.11	-0.18	-0.33	-0.52	-0.67	-0.75	-0.82	-0.88	-0.92	-0.92
17.90	1.50	1.50	7.95	7.66	7.06	6.46	5.79	4.32	3.01	2.39	1.56	1.30	1.01	1.01
	0.00	0.00	0.00	-0.05	-0.11	-0.17	-0.28	-0.47	-0.66	-0.74	-0.80	-0.87	-0.92	-0.92
18.24	1.50	1.50	8.05	7.74	7.14	6.54	5.93	4.67	3.11	2.50	1.65	1.36	1.01	1.01
	0.00	0.00	0.00	-0.05	-0.11	-0.16	-0.24	-0.39	-0.56	-0.71	-0.79	-0.86	-0.87	-0.87
18.57	1.50	1.50	8.14	7.84	7.24	6.64	6.04	4.92	3.49	2.65	1.76	1.36	1.01	1.01
	0.00	0.00	0.00	-0.05	-0.11	-0.16	-0.22	-0.34	-0.52	-0.70	-0.77	-0.82	-0.83	-0.83
18.90	1.50	1.50	8.23	7.92	7.32	6.72	6.12	5.16	3.73	2.74	1.74	1.40	1.01	1.01
	0.00	0.00	0.00	-0.05	-0.11	-0.16	-0.22	-0.29	-0.44	-0.61	-0.75	-0.79	-0.80	-0.80
19.23	1.50	1.50	8.32	8.02	7.42	6.82	6.22	5.30	4.06	3.10	1.77	1.39	1.01	1.01
	0.00	0.00	0.00	-0.05	-0.11	-0.16	-0.22	-0.27	-0.39	-0.56	-0.73	-0.75	-0.74	-0.74
19.56	1.50	1.50	8.41	8.10	7.50	6.90	6.30	5.41	4.30	3.31	1.82	1.38	1.01	1.01
	0.00	0.00	0.00	-0.05	-0.11	-0.16	-0.22	-0.27	-0.34	-0.49	-0.62	-0.70	-0.71	-0.71

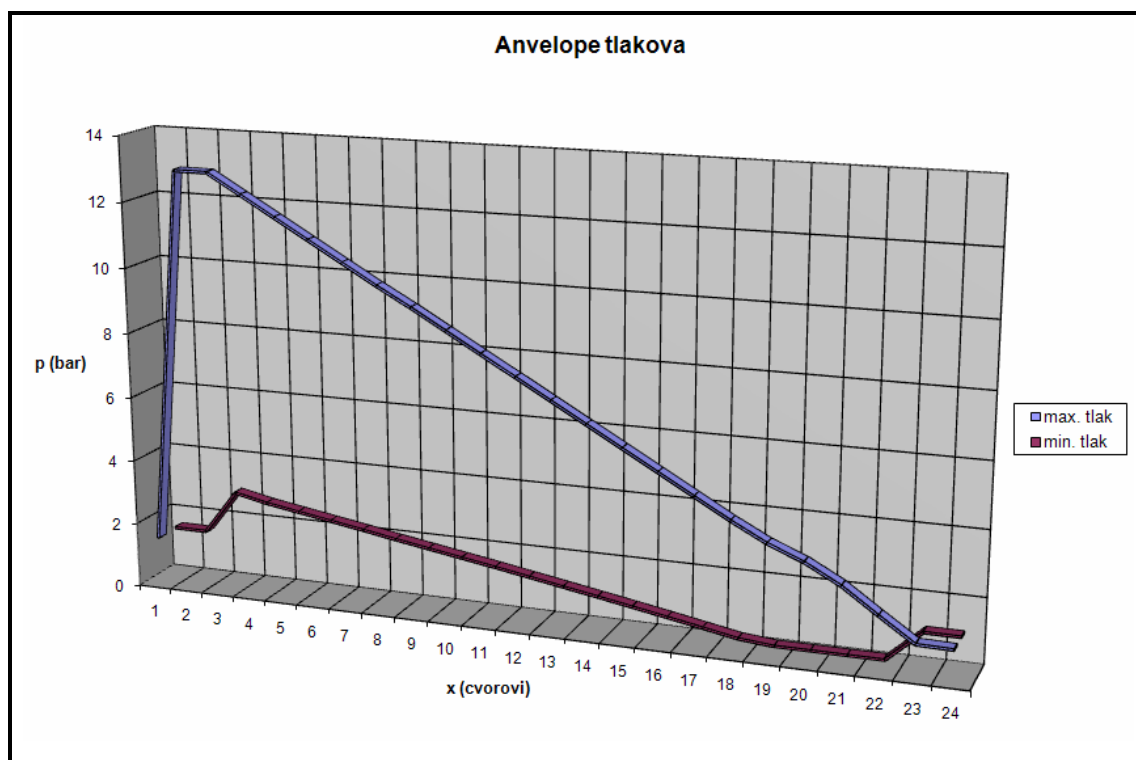
.... ANVELOPA TLAKOVA

CVOR	1	2	3	4	5	6	7	8
PMAX	1.50	1.50	8.49	12.42	11.82	11.23	10.63	10.03
PMIN	1.50	1.50	2.86	2.64	2.47	2.30	2.13	1.95
Pv	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
CVOR	9	10	11	12	13	14	15	16
PMAX	9.43	8.83	8.23	7.64	7.04	6.44	5.84	5.24
PMIN	1.78	1.61	1.44	1.26	1.08	0.90	0.71	0.53
Pv	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
CVOR	17	18	19	20	21	22	23	24
PMAX	4.64	4.04	3.43	2.83	2.23	1.63	1.03	1.01
PMIN	0.33	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	1.01	1.01
Pv	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04

MAKSIMALNI TLAK PMAX= 12.42 BAR , T= 0.33 S , I= 4
MINIMALNI TLAK PMIN= 0.04 BAR , T= 5.97 S , I= 19

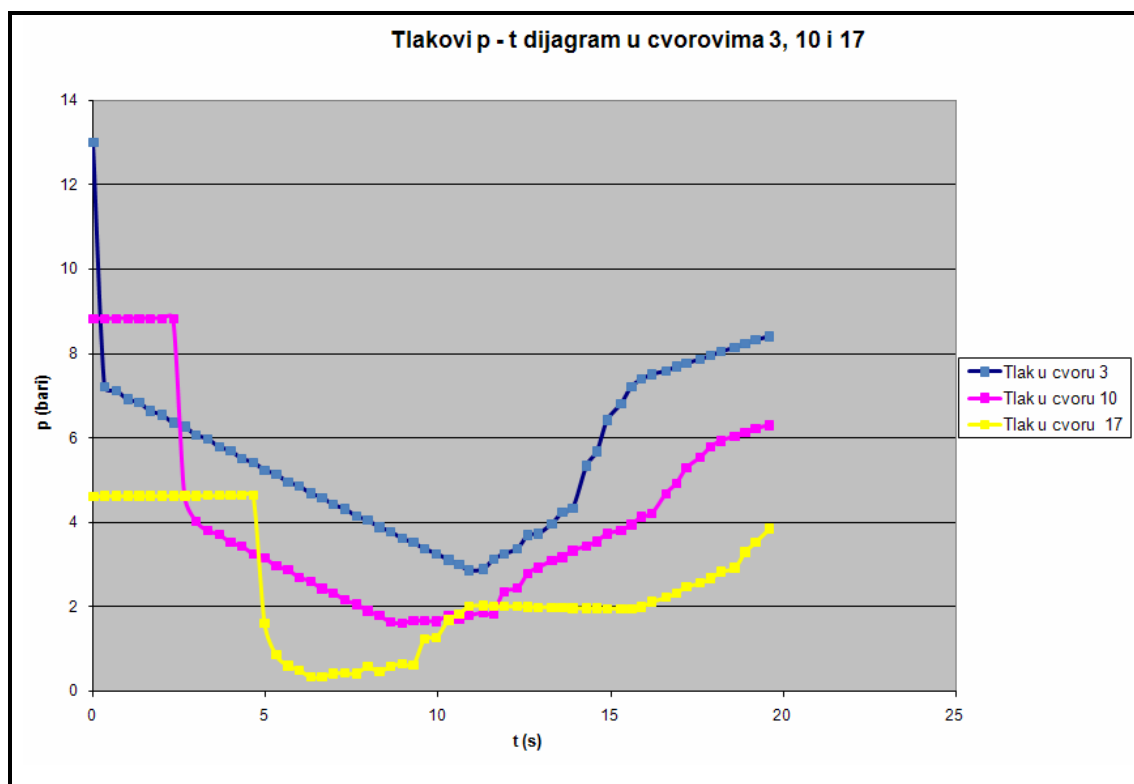
Tablica 4.1 – sadržaj datoteke *Output.dat*

Anvelopa tlakova se može i grafički prikazati pomoću sistemskog programa *Excel* koji se automatski otvara nakon završetka proračuna. Sljedeći dijagram prikazuje maksimalne i minimalne vrijednosti tlaka u svakom čvoru, iz kojeg se vidi da se kavitacija pojavljuje u čvorovima 19 – 22, kao što se vidi i u prethodnoj tablici.



Dijagram 4.1 – anvelopa tlakova kod neštićenog stanja

Sljedeći dijagram prikazuje vremensku promjenu tlaka u tri karakteristična čvora sustava, 3, 10 i 17. Vidimo da tlak u tim čvorovima ne pada ispod tlaka para, 4200 Pa.



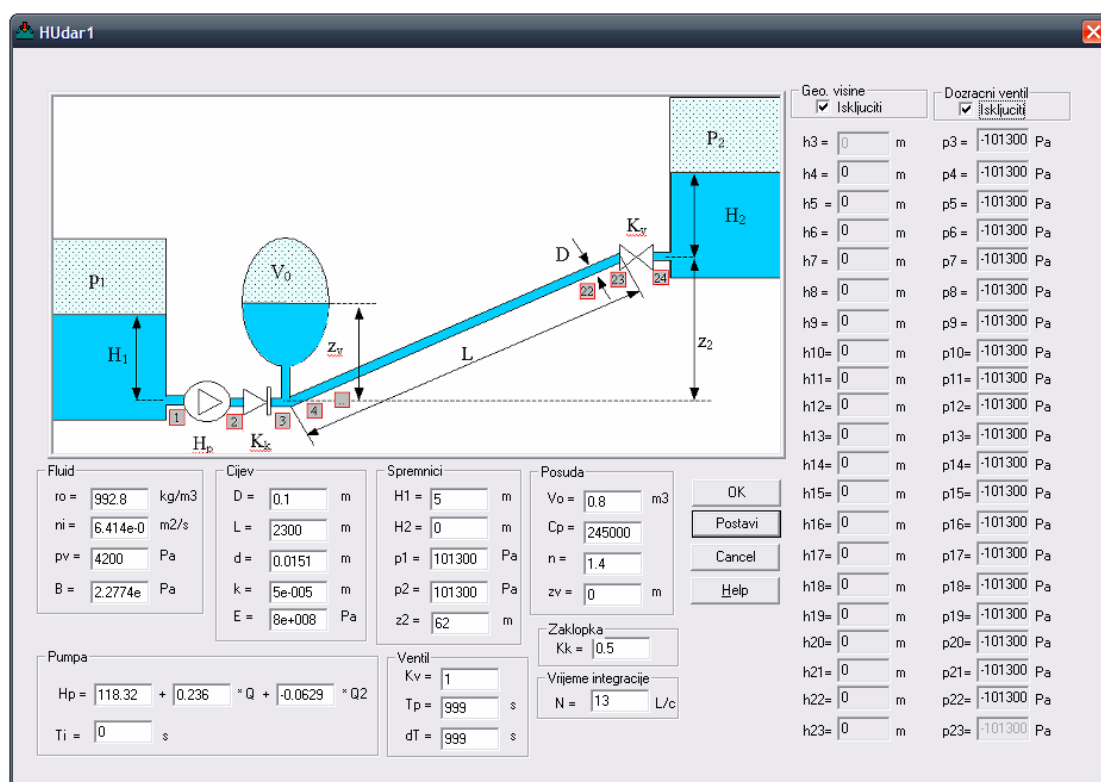
Dijagram 4.2 – vremenska promjena tlaka u karakterističnim čvorovima

4.2. Odabir tlačne posude

Sljedeća slika prikazuje panel s ulaznim podacima za sustav iz primjera 4.1, koji se štiti tlačnom posudom u čvoru 3, neposredno iza pumpe. Jasno je da će nakon ispada pumpe doći do zatvaranja zaklopke i do strujanja fluida iz tlačne posude. Period pojave će se povećavati s povećanjem volumena posude, volumen vode u posudi u stacionarnom režimu rada mora biti dovoljan da za vrijeme perioda pražnjenja posude, iz nje ne počne istjecati zrak. Početni protok istjecanja fluida iz posude jednak je protoku kroz cijev u stacionarnom režimu rada, a period pražnjenja posude je višekratnik vremena L/c . Iz datoteke *Output.dat* u primjeru 4.1, je vidljivo da je brzina stacionarnog strujanja 1,679 m/s, odnosno protok kroz cijev $0,0131868 \text{ m}^3/\text{s}$, a da je brzina zvuka kroz cijev $c=339,9 \text{ m/s}$ odnosno period $L/c=6,7667 \text{ s}$. Ako se vrijeme pražnjenja posude pri stacionarnom protoku procijeni na $5L/c$, tada je procijenjeni potrebni volumen vode u

4. Nestacionarne pojave izazvane trenutnim ispadom pumpe Diplomski rad

tlačnoj posudi oko $0,4 \text{ m}^3$. Zbog određene rezerve neka je u stacionarnom režimu rada volumen vode u posudi $0,5 \text{ m}^3$, a volumen zraka $0,3 \text{ m}^3$, pa je ukupni volumen posude $0,8 \text{ m}^3$, kako je i zadano u panelu ulaznih podataka. Iz datoteke *Output.dat* u primjeru 4.1 je vidljivo (prvi redak rezultata vremenskog ispisa) da je tlak u čvoru 3 ustacionarnom režimu rada 13,02 bar, pa je uz eksponent adijabatske promjene stanja zraka u posudi od $n=1,4$ konstanta posude $C = 1302000 \cdot 0,3^{1,4} = 241313 \text{ Pa} \cdot \text{m}^{4,2}$, što zaokruženo iznosi 245000. Budući se pretpostavlja ugradnja posude odmah uz cjevovod, zanemaruje se razlika visina razine fluida u posudi u odnosu na simetralu cijevi ($z_v = 0$). Vrijeme integracije je zbog posude povećano na 13 L/c.



Slika 4.2 – panel s ulaznim podacima

Sljedeća tablica prikazuje dio sadržaja izlazne datoteke *Output.dat* u kojoj su u bloku podataka o elementima vidljivi podaci za tlačnu posudu u čvoru 3. Iz anvelope tlakova je vidljivo da tlak ne pada ispod atmosferskog tlaka niti u jednom čvoru, a u vremenskom

Diplomski rad

ispisu rezultata ne pojavljuje se poruka o istjecanju zraka iz posude (ovdje ti rezultati nisu priloženi zbog duljine datoteke).

```

.... FIZIKALNA SVOJSTVA FLUIDA PRI RADNOJ TEMPERATURI

GUSTOĆA FLUIDA                                RO=      992.8 kg/m**3
KOEFIČIJENT KINEMATSKES VISKOZNOSTI          NI= 6.414E-07 m**2/s
TLAK ISPARAVANJA                              PVA= 4200.0 Pa
VOLUMNI MODUL ELASTICNOSTI                    K= 2.277E+09 Pa

MODUL ELASTICNOSTI MATERIJALA CIJEVI          E= 8.000E+08 Pa

```

.... PODACI O ELEMENTIMA

ELEM.	BR.	D	L	HR	DELTA	C	KV	TP	TZ	V0	C-POSUDE	N	ZG
		mm	m	mm	mm	m/s	-	s	s	m**3	Pa*m** (3N)	-	m
CIEJV	3	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIEJV	4	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIEJV	5	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIEJV	6	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIEJV	7	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIEJV	8	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIEJV	9	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIEJV	10	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIEJV	11	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIEJV	12	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIEJV	13	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIEJV	14	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIEJV	15	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIEJV	16	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIEJV	17	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIEJV	18	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIEJV	19	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIEJV	20	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIEJV	21	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
CIEJV	22	100.0	115.0	0.050	15.10	339.9							
PUMPA	1	100.0						0.0	0.0				
B0= 1.183E+02 B1= 2.360E-01 B2= -6.290E-02 B3= 0.000E+00													
KLAPNA	2	100.0											
POSUDA	3									0.8	2.450E+05	1.40	0.00
VENTIL	23	100.0					1.0	999.0	999.0				

...

```

.... ANVELOPA TLAKOVA

CVOR      1      2      3      4      5      6      7      8
PMAx      1.50   1.50  12.89  12.42  11.82  11.23  10.63  10.03
PMin      1.50   1.50   6.32   6.05   5.77   5.50   5.22   4.95
Pv        0.04   0.04   0.04   0.04   0.04   0.04   0.04   0.04

CVOR      9      10     11     12     13     14     15     16
PMAx      9.43   8.83   8.23   7.64   7.04   6.44   5.84   5.24
PMin      4.68   4.41   4.14   3.87   3.61   3.34   3.08   2.82
Pv        0.04   0.04   0.04   0.04   0.04   0.04   0.04   0.04

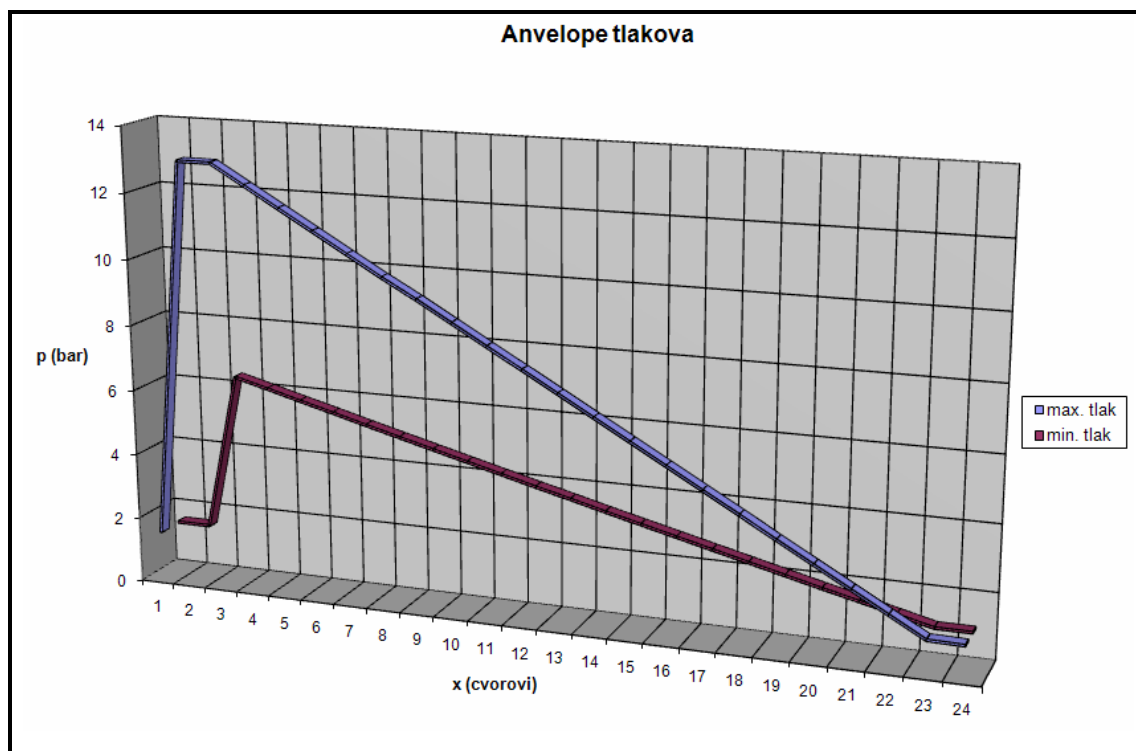
CVOR     17      18      19      20      21      22      23      24
PMAx      4.64   4.04   3.43   2.83   2.23   1.63   1.03   1.01
PMin      2.56   2.30   2.04   1.78   1.53   1.27   1.01   1.01
Pv        0.04   0.04   0.04   0.04   0.04   0.04   0.04   0.04

MAKSIMALNI TLAK   PMAx= 12.89 BAR , T= 0.33 S , I= 3
MINIMALNI TLAK    PMin=  1.01 BAR , T=55.37 S , I= 23
    
```

Tablica 4.2 – sadržaj datoteke *Output.dat*

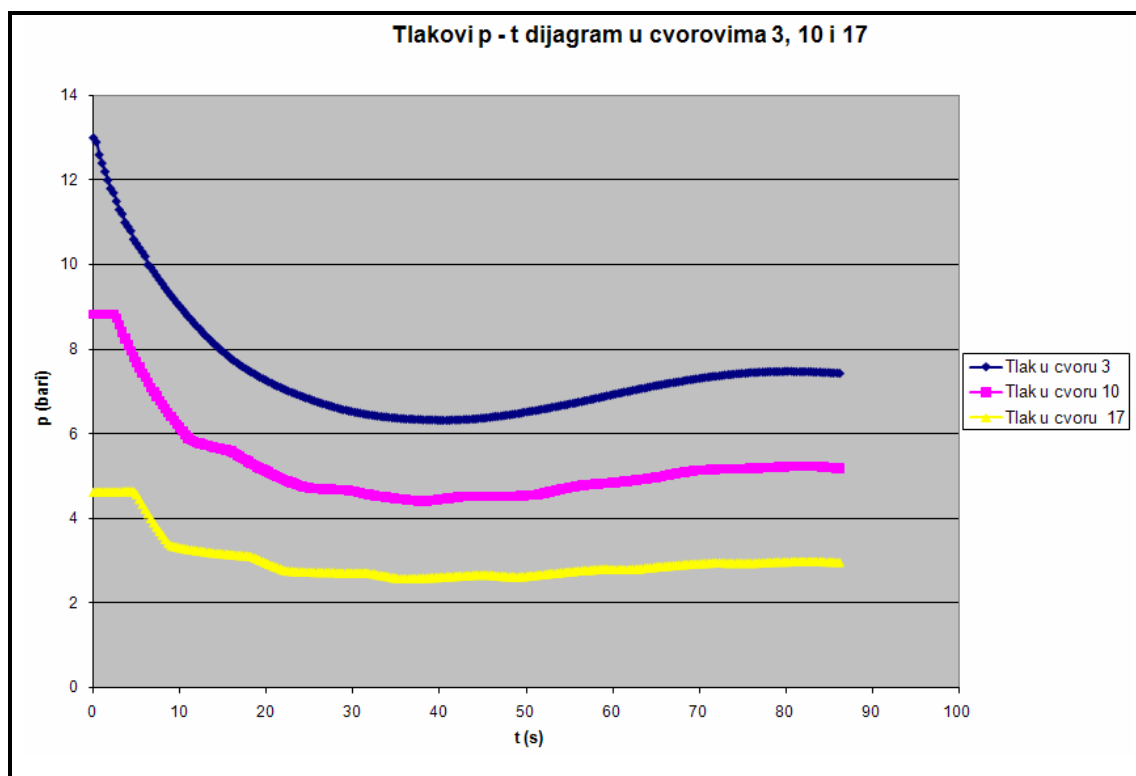
4. Nestacionarne pojave izazvane trenutnim ispadom pumpe Diplomski rad

Sljedeći dijagram prikazuje anvelopu tlakova iz koje je očito da maksimalni tlak ne prelazi 13 bar.



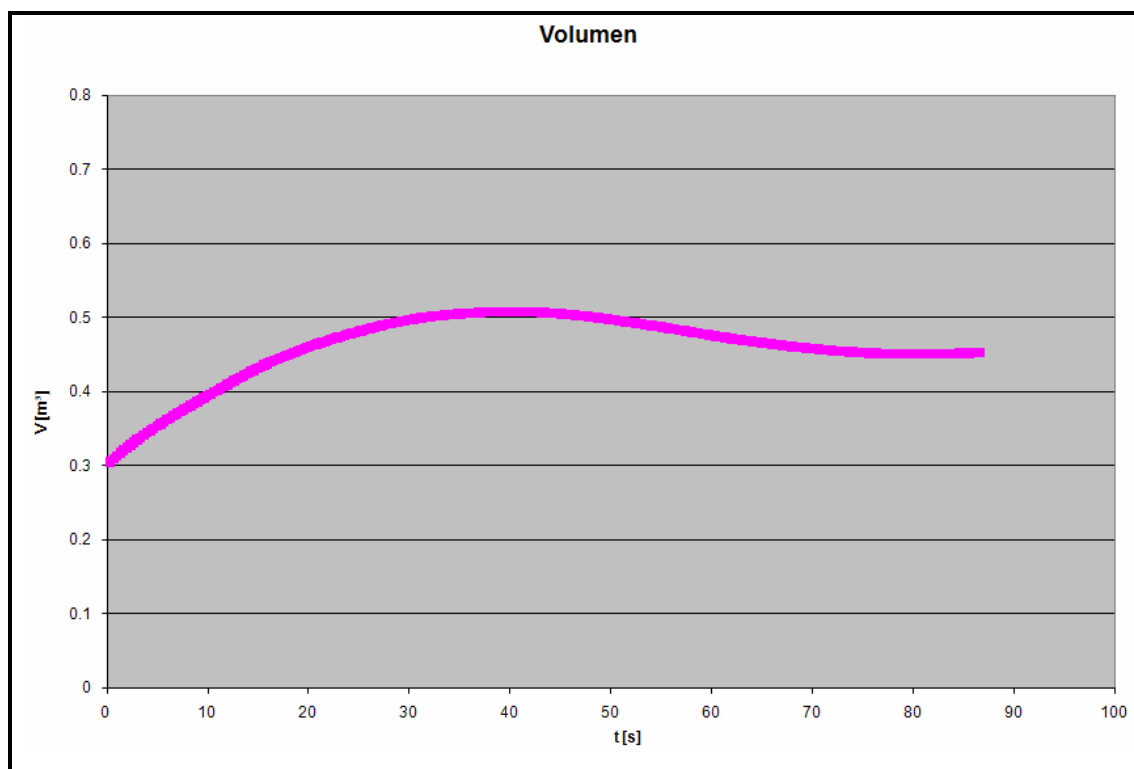
Dijagram 4.3 – anvelopa tlakova kod štíćenog stanja

Sljedeći dijagram prikazuje vremensku promjenu tlaka u tri karakteristična čvora. Promjena tlaka u čvoru 3 u kojem se nalazi posuda je glatka, dok se u čvorovima 10 i 17 tlak mijenja skokovito s prolaskom vala.



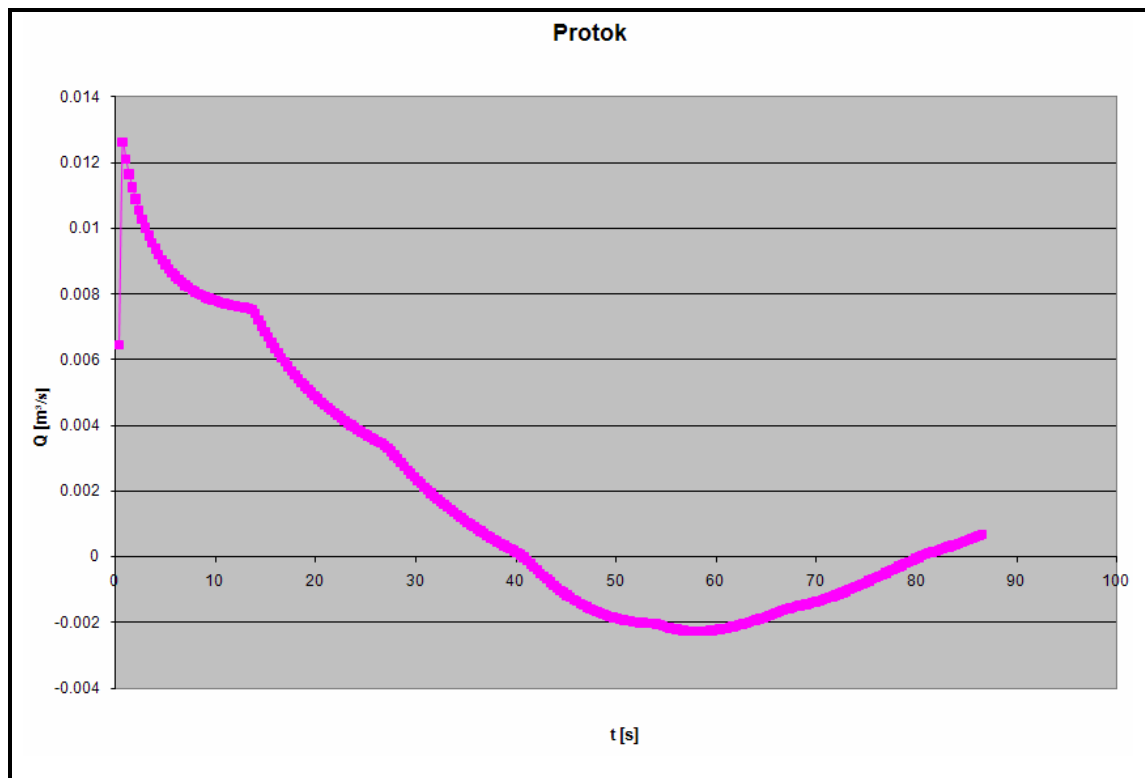
Dijagram 4.4 – vremenska promjena tlaka u karakterističnim čvorovima

Sljedeći dijagram prikazuje vremensku promjenu volumena zraka u posudi. U početnom trenutku je volumen oko $0,3 \text{ m}^3$, a s istjecanjem vode iz posude volumen zraka se povećava. Maksimalna vrijednost volumena je ispod $0,6 \text{ m}^3$, što znači da će u svakom trenutku u posudi biti više od $0,2 \text{ m}^3$ vode (jer je ukupni volumen posude $0,8 \text{ m}^3$), pa neće dolaziti do istjecanja zraka iz posude.



Dijagram 4.5 – prikaz volumena zraka u posudi

Sljedeći dijagram prikazuje vremensku promjenu protoka vode iz posude (pozitivan protok), odnosno u posudu (negativan protok). Vrijednost maksimalnog protoka služi za dimenzioniranje priključne cijevi za posudu.



Dijagram 4.6 – vremenska promjena protoka iz/u posudu

5. ODABIR I DISPOZICIJA UREĐAJA

Pošto smo dobili sve potrebne rezultate, proveli cijeli proračun, krećemo na odabir i dispoziciju uređaja. Tu se podrazumijevaju odabir broja pumpi, generatora, te tehnički crteži tlačne posude i cijele pumpne stanice.

5.1. 3 pumpe + 2 rezervne

U tijeku proračuna zadali smo da nam u pumpnoj stanici vodu crpe 3 pumpe u paralelnom radu. Uz te pumpe treba postaviti i rezervne u slučaju kvara jedne od njih. U većini slučajeva dovoljna bi bila jedna, ali mi ćemo postaviti dvije rezervne pumpe tako da se osiguramo u slučaju bilo kakvog kvara na pumpama. U prilogu na 32 str. možemo vidjeti crtež pumpne stanice.

5.2. Generator

Da bi se osigurali da nam postrojenje ne stane u slučaju nestanka struje ili požara koji nam je uništio dovod struje do naše pumpne stanice, treba postaviti generator. Odabrat ćemo generator snage 60 kW, budući da imamo 3 pumpe u paralelnom radu svaka sa motorom snage 18,5 kW.

5.3. Tlačna posuda

Iz nestacionarnog proračuna dobili smo da je volumen posude $0,8 \text{ m}^3$. U prilogu na str. 32 možemo vidjeti crtež tlačne posude.

6. ZAKLJUČAK

Diplomski rad realiziran je na sljedeći način:

- iz dijagrama dnevne potrošnje vode očitali smo maksimalni protok,
- nakon toga s ostalim zadanim podacima o materijalu i svojstvima fluida krenuli smo na stacionarni proračun strujanja fluida kojeg smo proračunavali u programskom paketu *Pipeline.exe*,
- iz stacionarnog proračuna dobili smo potrebnu visinu dobave pumpe te smo iz kataloga *Grundfos 50 Hz* odredili karakteristiku pumpe nakon čega smo ponovo implementirali karakteristiku u *Pipeline.exe* te smo ponovili proračun,
- nakon stacionarnog proračuna krenuli smo na nestacionarni proračun strujanja fluida u programskom paketu *Hudar.exe*, tako da smo zadali da nam pumpa ispada iz rada u nultom trenutku,
- cilj nestacionarnog proračuna nam je odrediti potrebnu zaštitu cjevovoda od hidrauličkog udara, tj. potrebno je odrediti veličinu tlačne posude koja bi zaštitila naš cjevovod u slučaju hidrauličkog udara,
- nakon nekoliko izvedenih proračuna pokazalo se da posuda volumena $0,8 \text{ m}^3$ zadovoljava što se tiče zaštite našeg cjevovodnog sustava.

- [1] Šavar, M.: Hidrodinamika cijevnih mreža, www.fsb.hr/hydro, Zagreb, 2005.
- [2] Šavar, M.: Komunalna hidrotehnika, www.fsb.hr/hydro, Zagreb, 2007.
- [3] L. Sanks, Robert : Pumping station design
- [4] Priručnik HUdar
- [5] Pipeline.exe
- [6] Hudar.exe
- [7] Grundfos: CR CR CRN 50 Hz

Prilozi

Prilozi